Minimalstellen der regulären Reflexion.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen Philosophischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg.

vorgelegt von

Karl Pfannenberg
aus Großörner (Südharz)

MARBURG 1926.

Von der philosophischen Fakultät der Universität Marburg
angenommen am 23. Januar 1926,
Referent: Prof. Dr. Cl. Schaefer.

ZEITSCHRIFT FÜR PHYSIK

HERAUSGEGEBEN UNTER MITWIRKUNG
DER
DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

VON

KARL SCHEEL

Sonderabdruck Band 37, Heft 10/11

Karl Pfannenberg

Minimalstellen der regulären Reflexion

VERLAG VON JULIUS SPRINGER, BERLIN
1926

Die

Zeitschrift für Physik

erscheint zwanglos in einzelnen Heften, die zu Bänden von 60 Bogen vereinigt werden.

Die Zeitschrift für Physik ist durch jede Buchhandlung sowie durch die Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24 zu beziehen. Mitglieder der Deutschen Physikalischen Gesellschaft haben Anspruch auf einen Vorzugspreis bei unmittelbarem Bezuge vom Verlage.

Die Verfasser erhalten von Arbeiten bis zu $1^1/_2$ Druckbogen Umfang 100 Sonderabdrucke, von größeren Arbeiten 50 Sonderabdrucke kostenfrei, weitere gegen Berechnung.

Manuskriptsendungen sind zu richten an Herrn **Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Karl Scheel, Berlin-Dahlem, Werderstr. 28.**

37. Band. **10./11. Heft.**

Inhalt.

Seite

Peter Pringsheim und **S. J. Wawilow,** Polarisierte und unpolarisierte Phosphoreszenz fester Farbstofflösungen. Mit 3 Abbildungen. (Eingegangen am 12. Mai 1926) 705

A. Eucken, Zur Frage nach der Gestalt der Kohlensäuremolekel. (Eingegangen am 14. Mai 1926) 714

G. I. Pokrowski, Über die Polarisation des Lichtes in trüben Medien. II. Mit 10 Abbildungen. (Eingegangen am 15. Mai 1926) 722

Hermann Schüler, Über elektrische Anregung von Metalldämpfen im Kingschen Widerstandsofen. (Unter Mitwirkung von Herrn K. L. Wolf.) (Mitteilung aus dem Laboratorium der Einstein-Stiftung.) Mit 2 Abbildungen. (Eingegangen am 16. Mai 1926) 728

Vasco Ronchi, Das Okularinterferometer und das Objektivinterferometer bei der Auflösung der Doppelsterne. (Aus dem Physikalischen Institut der Königlichen Universität in Florenz.) Mit 10 Abbildungen. (Eingegangen am 1. Mai 1926) 732

Karl Pfannenberg, Minimalstellen der regulären Reflexion. (Aus dem Physikalischen Institut der Universität Marburg.) Mit 9 Abbildungen. (Eingegangen am 23. April 1926) 758

Joseph Würschmidt, Zur Theorie der Elementarmagnete. I. Mit 7 Abbildungen. (Eingegangen am 10. März 1926) 773

J. Mattauch, Zur Frage nach der Existenz von Subelektronen. Mit 2 Abbildungen. (Eingegangen am 7. Januar 1926) 803

F. Ehrenhaft, Bemerkungen zu Herrn Mattauchs Arbeit zur Frage nach der Existenz von Subelektronen. Mit 1 Abbildung. (Eingegangen am 24. April 1926) 816

F. Ehrenhaft und **E. Wasser,** Größen-, Gewichts- und Ladungsbestimmung submikroskopischer einzelner Kugeln der Radiengrößen: 4.10^{-5} cm bis 5.10^{-6} cm. (Mit reeller Abbildung submikroskopischer Teilchen durch das ultraviolette Licht.) Mit 9 Abbildungen. (Eingegangen am 24. April 1926) 820

A. Trapesnikow, Über die Farbenänderung des Bariumplatincyanürs unter der Wirkung der Röntgenstrahlen und beim Erwärmen. Mit 8 Abbildungen. (Eingegangen am 3. Mai 1926) 844

F. Struwe, Nachtrag zur Arbeit: Über die kritischen Spannungen von Emanation. (Eingegangen am 29. Mai 1926) 859

J. Kudar, Bemerkung zur Arbeit des Herrn M. Bronstein: Über die Bewegung eines Elektrons im Felde eines festen Zentrums mit Berücksichtigung der Massenveränderlichkeit bei der Ausstrahlung. (Eingegangen am 3. Mai 1926) 861

Berichtigung 862

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554602_0028

Aus dem Physikalischen Institut der Universität Marburg.

Minimalstellen der regulären Reflexion.

Von **Karl Pfannenberg** in Marburg.

Mit 9 Abbildungen. (Eingegangen am 23. April 1926.)

Mit Hilfe elektrischer Wellen werden die Minimalstellen der regulären Reflexion bei Wasser und Kochsalzlösungen bestimmt.

Was die Abhängigkeit der Intensität des reflektierten Lichtes vom Einfallswinkel angeht, so findet man in der Literatur fast ausschließlich die Ansicht vertreten, daß sie mit zunehmendem Einfallswinkel dauernd wächst.

Diese Feststellung ist auch im allgemeinen richtig. Bei Stoffen mit einem Brechungsexponenten größer als 3,732 stellt sich jedoch kein dauernder Anstieg der reflektierten Intensität ein, sondern ein stark ausgeprägtes Minimum tritt bei einem von n abhängigen Winkel auf.

Darauf machte F. Jentzsch-Gräfe[1]) aufmerksam. Einen Teil seiner Resultate hatte übrigens schon Mascart gefunden und beiläufig in seinem „Traité d'Optique“[2]) erwähnt.

Jentzsch findet als Bedingung für das Eintreten eines Reflexionsminimums:

$$\cos^3(\alpha - \beta) = \cos(\alpha + \beta), \tag{1}$$

wo α der Einfalls- und β der Brechungswinkel ist.

In Verbindung mit dem Brechungsgesetz errechnet sich dann für den kritischen Brechungsexponenten n der schon angegebene Wert 3,732, für den das Minimum ebenso wie für $n < 3{,}732$ gerade noch bei 0^0 Einfallswinkel liegt. Wird der Brechungsexponent dagegen größer, so verschiebt sich das Reflexionsminimum nach steigendem Einfallswinkel zu.

Im sichtbaren Gebiete treten so hohe Brechungsindizes allerdings nicht auf. Man ist vielmehr auf elektrische Wellen angewiesen, und ich habe daher im folgenden die Theorie auf diesem Wege zu bestätigen gesucht.

Der Behälter für die Substanzen. Es wurde zu den Untersuchungen zunächst Wasser genommen, das für elektrische Wellen einen Brechungsindex von 8,964 zeigt.

---

[1]) F. Jentzsch-Gräfe, Verh. d. D. Phys. Ges. **21**, 361, 1919.

[2]) Traité d'Optique, **2**, 417, 1891.

Damit die Reflexion genau gemessen werden konnte, mußte als Wasserbehälter ein nicht störendes (also kein metallisches) Gefäß verwandt werden. Als solches diente ein Holzkasten (1,20 . 1,25 . 0,2 m³), der an den undichten Stellen gut verkittet und einige Male mit dicker

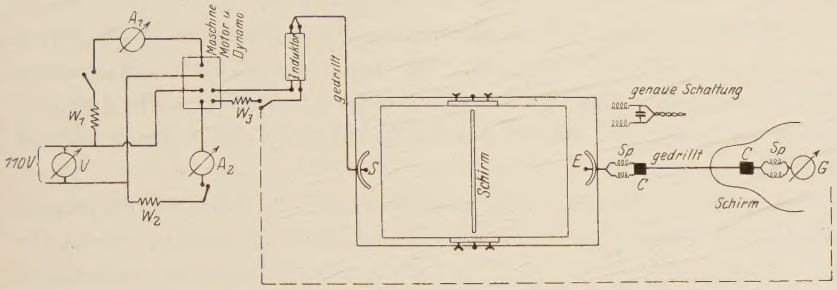

Fig. 1.

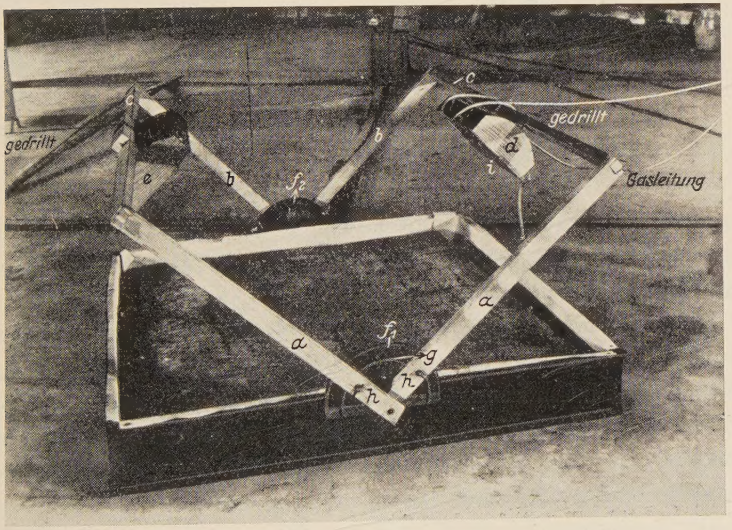

Fig. 2.

Ölfarbe überstrichen wurde. Trotzdem hielt er nach einem Vierteljahre nicht mehr dicht, so daß man ihn mit einer wasserundurchlässigen Gummidecke auslegen mußte.

An jeder Querseite dieses Behälters waren, wie aus Fig. 1 und 2 zu ersehen ist, in 13 cm Höhe über seinem Boden je zwei Leisten (0,80 m lang, Fig. 2 *a* und *b*) einander gegenüber befestigt. Von diesen wurden wieder je zwei von verschiedenen Seiten durch einen dritten Stab (*c*)

verbunden, in dessen Mitte der Sender (d) und gegenüber der Empfänger (e) angebracht waren. Die beiden am Kasten festgemachten Leisten a und b liefen über einem Halbkreise mit Gradeinteilung (f_1, f_2) in einer Nute (g), so daß sie mittels Flügelmuttern in jeder Gradeinstellung gehalten werden konnten.

Die Sendeapparatur. Als Sender wurde ein zuerst von G. Mie[1]) angegebener Oszillator verwandt, über dessen Brauchbarkeit Mie schon 1910 berichtete. Diese Art der Oszillatoren wurde von H. Rukop[2]) genau untersucht und seitdem von L. Machts[3]), R. Weichmann[4]) und anderen benutzt.

Der zu den Messungen benutzte Sender hatte einen Wellenlängenbereich von 25 bis 40 cm. Er ist in Fig. 3 in Vorderansicht dargestellt.

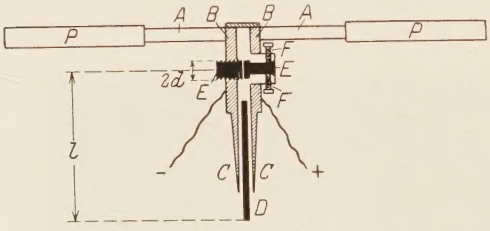

Fig. 3.

Die beiden Antennen A, die durch einen Posaunenauszug P beliebig verlängert werden konnten, sind in zwei Messingbarren B eingeschraubt. Die Barren sind auf zwei Kondensatorplatten C aufgelötet, die voneinander durch eine 0,2 mm starke, isolierende Ebonitplatte D getrennt werden. Die Kupferelektroden E der Funkenstrecke konnten durch drei Mikrometerschrauben F einander parallel gegenübergestellt werden.

Bei dem von mir benutzten Sender betrug der Abstand l von der Mitte der Elektrodenflächen (vom Durchmesser $b = 3{,}8$ mm) bis zum Ende der quadrantenförmigen Kondensatorplatten (C) 15 mm.

Der Sender befand sich im Brennpunkte eines für die entsprechende Sendelänge berechneten Metallspiegels (d, Fig. 2); d. h. die Spiegelbrennweite betrug $\lambda/4$.

Die Funkenstrecke wurde mit Leuchtgas gekühlt, das mit Chlorcalcium getrocknet wurde. Leuchtgas zeigte sich wirksamer als H_2, was nach Mie gleichzeitig auf eine chemische Wirkung schließen läßt. Die Funkenstrecke betrieb ein Induktor, dessen Primärspule von einer Wechselstrommaschine mit 50 Perioden beschickt wurde, und der sekundär

[1]) G. Mie, Phys. ZS. **11**, 1035, 1910.
[2]) H. Rukop, Ann. d. Phys. **42**, 489, 1913.
[3]) Cl. Schaefer und L. Machts, ebenda **74**, 255, 1924.
[4]) R. Weichmann, ebenda **66**, 501, 1921.

5000 Volt Spannung lieferte. Die Maschine ihrerseits lag, wie aus Fig. 1 ersichtlich ist, an der 110-Volt-Leitung der Institutsbatterie.

Um die Konstanz der Spannungen und Stromstärken zu prüfen, befanden sich in dem Primärkreise verschiedene Meßinstrumente. Außerdem konnte dieser Kreis vom Galvanometer aus mittels einer Schnur beliebig unterbrochen und somit die Funkenstrecke je nach Bedarf in Betrieb gesetzt werden.

Die Empfangsapparatur. Der Empfänger war ein linearer Kristalldetektor, wie ihn L. Bergmann[1]) benutzt hatte. Er befand sich an der zweiten Querleiste (*c*) im Brennpunkte eines dem Sendespiegel gleichen Hohlspiegels (*e*). Die Zuleitungsdrähte zum Galvanometer liefen wie beim Sender, gedrillt und isoliert durch den Metallspiegel des Empfängers. Außerdem lagen nach Fig. 1 in dieser Leitung je zweimal zwei Drosselspulen (zuerst angewandt von L. Bergmann) (Spule 1: 2 cm Durchmesser, 5 cm lang, 100 Windungen. Spule 2: 1,3 cm Durchmesser 1 cm lang, 250 Windungen) und zwei Kapazitäten (je zwei μF). Über den Zweck derselben vergleiche weiter unten.

Das Galvanometer[2]) (vom d'Arsonval-Typus) war durch einen Metallschirm gegen zerstreute Strahlung geschützt.

Ein ebensolcher vertikaler Schirm[3]) befand sich in der Mitte zwischen Sender- und Empfängerspiegel über dem Wasserkasten. Seine Größe 1,15 . 1,90 m^2 reichte aus, um jede direkte Strahlung vom Sender zum Empfänger zu verhindern.

Vorläufige Messungen. Mit der beschriebenen Apparatur begann ich meine Messungen, die sämtlich auf dem 15 . 15 . 8 m^3 großen Dachboden des Instituts über dem großen Hörsaal ausgeführt wurden. Die Wahl dieses Ortes wurde durch zwei Gründe veranlaßt: Einmal enthielt dieser Raum wenig Eisen oder andere Metalle, und zum anderen wurden wegen der großen Ausdehnung des Raumes die Störungen durch Reflexion der Wellen an den Wänden des Zimmers herabgesetzt und dadurch die Messungen im geschlossenen Raume überhaupt erst möglich.

Es wurde zunächst der mit Gummi gedichtete Kasten bis zum Drehungspunkt der Sender- und Empfängerleisten, d. h. 13 cm hoch, mit Wasser gefüllt. Dazu gehörte eine Wassermenge von rund 160 Litern. Der zur Abschirmung der direkten Senderstrahlung über dem Behälter

---

[1]) L. Bergmann, Ann. d. Phys. **67**, 30, 1922.

[2]) Empfindlichkeit: 3,5 . 10^{-9} Amp. pro Skalenteil.

[3]) Fig. 1; bei Fig. 2 absichtlich weggelassen, weil er sonst zuviel vom Sender oder Empfänger verdeckte.

angebrachte Metallschirm befand sich in der günstigsten Stellung 14 cm über dem Wasserspiegel.

Sämtliche Messungen wurden mit einer Wellenlänge $\lambda = 25$ cm ausgeführt, nachdem Sender und Empfänger durch Variieren der Antennenlänge außerhalb der Apparatur aufeinander abgestimmt waren.

Die Wellenlänge war mittels Resonanzkurven, die nach der „Boltzmannschen Interferenzmethode“ aufgenommen wurden, bestimmt.

Bevor ich zu den eigentlichen Messungen überging, prüfte ich zunächst, ob die Apparatur auch störungsfrei war:

Der Senderspiegel wurde mit einer Metallhülle umgeben, so daß das Meßinstrument der Empfangsanordnung keinen Ausschlag anzeigen durfte, weil keine Strahlung mehr vom Sender nach dem Empfänger gelangen konnte. Dies war jedoch nicht der Fall. Es zeigte sich vielmehr ein Ausschlag (in den folgenden Ausführungen „Fehlausschlag“ genannt) im Galvanometer, der die Intensität der Senderstrahlung bei offenem Sender erheblich übertraf.

Der Fehlausschlag wurde durch Strahlung hervorgerufen, die von Teilen der Zuleitungsdrähte des Senders ausging, die als Schwingungskreise wirkten. Sie konnte so auf die Galvanometerleitung der Empfangsapparatur auftreffen und zum Detektor gelangen.

Nach vielen Bemühungen drückte ich den Fehlausschlag durch folgende Verbesserungen der Apparatur auf einen konstanten Betrag herab, der nur noch 0,5 bis 1 Proz. des Maximalausschlages betrug.

Es wurde die schon erwähnte Unterbrechungsstelle zur Inbetriebsetzung der Funkenstrecke aus dem Sekundärkreise des Induktors, in dem sie sich zuerst befand, in den Primärkreis verlegt.

Weiter ließ sich der Fehlausschlag durch Drillen und Horizontallegen der Zuleitung vom Induktor zur Funkenstrecke und vom Empfänger zum Galvanometer verkleinern.

Der schließlich zufriedenstellende Erfolg wurde dadurch erzielt, daß, wie oben angegeben ist, in die Galvanometerleitung zwei Drosselspulen eingefügt wurden. Nach deren Einbau war nur noch ein kleiner konstanter Ausschlag von wenigen Skalenteilen im Galvanometer festzustellen. Die Spulen versperrten infolge ihrer hohen Selbstinduktion den vagabundierenden elektrischen Schwingungen, die von hinten auf die Galvanometerleitung auftrafen, den Weg zum Detektor. Der Ausgleich erfolgte durch die den Zuleitungsdrähten parallel geschalteten Kondensatoren. Infolgedessen zeigte das Galvanometer nur den Gleichstrom an,

der im Detektor von den vom Sender in den Spiegel gelangenden Wellen erzeugt wurde.

Die Ergebnisse der nun vorgenommenen Messungen an Wasser waren sowohl bei r_s als auch r_p [1]) befriedigend. Nur bei den Stellen des streifenden Einfalls war noch eine Störung vorhanden. Der Grund war der, daß bei beiden Stellungen ein Teil des Empfänger- und Senderspiegels tiefer als der Wasserspiegel zu liegen kam, so daß ein beträchtlicher Teil der Strahlung von dem davorliegenden Wasser absorbiert wurde.

Diesem Übelstande half ein kleiner Kunstgriff ab. Es wurden zwei Metallklappen (Fig. 2, *i*) angefertigt, und mit ihnen der untere Teil des Senders, der unter den Wasserspiegel zu liegen kam, in senkrechter und paralleler Stellung abgeschirmt. Die Intensität der Senderstrahlung wurde so in allen Stellungen auf die Hälfte reduziert.

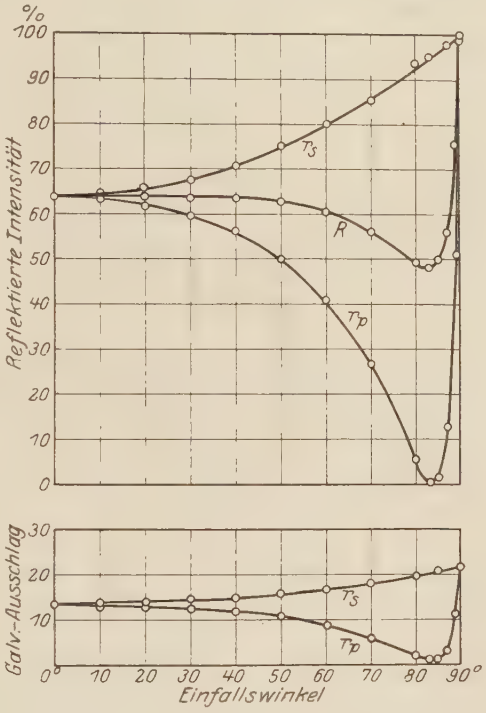

Fig. 4.

Mit dieser Verbesserung stellte ich jetzt bei verschiedenem Einfallswinkel die Reflexion fest. Von den folgenden Stoffen wurden je drei bis fünf Meßreihen aufgenommen.

Endgültige Messungen. Fig. 4 mit den dazugehörigen Tabellen enthält die Werte für Wasser. Die gemessenen r_s- und r_p-Werte sind darin in Skalenteilen und in Prozenten der Maximalstrahlung von r_s bzw. r_p angegeben.

[1]) Es bedeuten r_s und r_p die Reflexionskoeffizienten linear polarisierter Strahlung, wenn deren Vektor senkrecht bzw. parallel zur Einfallsebene schwingt. Dann ist $R = \frac{r_s + r_p}{2}$.

Wasser. Werte zu Fig. 4.

Einfalls-winkel	r_s gem. Skalenteile	r_s gem. in Proz.	r_s ber. in Proz.	r_p gem. Skalenteile	r_p gem. in Proz.	r_p ber. in Proz.	R gem. in Proz.	R ber. in Proz.
0^0	13,5	64,2	63,88	13,5	64,2	63,88	64,2	63,88
10	13,6	64,3	64,32	13,3	63,5	63,45	63,9	63,88
20	13,8	66	65,63	13	61,8	62,08	63,9	63,85
30	14,2	67,5	67,83	12,5	59,5	59,61	63,5	63,72
40	14,9	70,5	70,93	11,8	56,1	55,7	63,3	63,32
50	15,7	75	74,95	10,5	50	49,72	62,5	62,34
60	16,8	80	79,9	8,5	40,5	40,52	60,2	60,21
70	18,0	85,6	85,83	5,5	26,4	26,2	56	56,01
80	19,5	93,4	92,55	1,1	5,1	4,87	49,2	48,71
83	19,7	95	94,68	0,1	0,47	0,22	47,7	47,45
85	20,2	95,5	96,16	0,3	1,4	1,44	48,4	48,80
87	20,5	97,5	97,68	2,7	12,8	12,86	55,1	55,27
89	20,8	99,5	99,22	10,7	51	52,99	75,3	76,11
90	21,1	100	100	20,5	98	100	99,5	100

Es stellen die ausgezogenen Linien im oberen Teil der Fig. 4 die für $n = 8{,}964$ berechneten Kurven dar, während die gemessenen Werte durch Kreise angedeutet sind. Als 100 Proz. der reflektierten Strahlung wurde jedesmal der Maximalausschlag von r_s bzw. r_p angenommen, der bei beiden fast gleich war.

Man sieht aus den Kurven, wie nach der Theorie zu erwarten war, daß eine wie gewöhnlich von 0^0 bis 90^0 ansteigende Reflexion hier nicht auftritt, sondern ein Minimum ungefähr bei 83^0 eintritt. Es ist also $R_{\min} < R_0$. Neben der übereinstimmenden Art des Verlaufes der theoretischen und experimentellen Kurve stehen auch die Größen der theoretisch und experimentell gefundenen Werte sehr schön im Einklang; denn der theoretische und experimentelle Wert der Reflexion beträgt bei 0^0 rund 64 Proz. der Maximalstrahlung, und auch an der Minimalstelle und anderen Winkeln stimmen die Intensitäten innerhalb der Fehlergrenzen überein. Der experimentell gefundene Wert des Brechungsexponenten stimmt mit dem für die theoretische Kurve zugrundegelegten ($n = 8{,}964$) bestens überein; denn nach Formel (1) ergibt sich unter Anwendung des Brechungsgesetzes:

$$\sin^2 \alpha_{\min} = \frac{4}{3} - \frac{n^2 - n\sqrt{n - 12}}{18}.$$

Nach den vorliegenden Messungen muß man ferner schließen, daß die Dicke der Wasserschicht (13 cm) völlig ausreicht, um jede störende Reflexion an der unteren Wasserfläche zu vermeiden. Dies Ergebnis

war nach den Messungen von Eckert[1]) zu erwarten, der für Wasserschichtdicken von 4,44 mm nur noch eine Durchlässigkeit von 0,5 Proz. fand.

Außerdem wurde für verschiedene Einfallswinkel von 0^0 bis 90^0 die Summe der Reflexionen an der oberen und unteren Fläche nach der „Airyschen Formel“[2])

$$J = \frac{4\,a^2 + \sin^2\left(\pi\,\frac{\gamma}{\lambda}\right)}{(1+\tau_1)^2 + 4\,\tau_1\left[\sin^2\left(\pi\,\frac{\gamma}{\lambda}\right)\right]}$$

berechnet.

Hier bedeutet a die Amplitude der Strahlung. $\gamma = 2\,d\,n\,.\cos\beta$, d = Schichtdicke und $\tau_1 = \frac{\sigma+\tau}{2}$, wo $\sigma = -\frac{\sin(\alpha-\beta)}{\sin(\alpha+\beta)}$ und $\tau = \frac{\operatorname{tg}(\alpha-\beta)}{\operatorname{tg}(\alpha+\beta)}$ ist.

Die so gefundenen J-Werte zeigen eine starke Abweichung von den für die einfache Reflexion berechneten und gemessenen Werten, sowohl für die Größe der Intensitäten bei den einzelnen Winkeln als auch für die Lage des Reflexionsminimums. Man sieht also sofort, daß eine merkliche Störung durch die Rückfläche nicht vorhanden ist, da sonst der Verlauf ein total anderer hätte sein müssen.

Das für Wasser ($n = 8{,}964$) bei 83^0 gefundene Minimum verschiebt sich nach der Theorie für größere Brechungsindizes nach 90^0 und für kleinere nach 0^0 zu.

Es wäre deshalb wünschenswert gewesen, auch mit Stoffen von anderen n-Werten (n natürlich auch hier $> 3{,}732$) Reflexionsmessungen vorzunehmen.

Von vornherein fallen die festen Körper weg; denn weder für Licht noch für elektrische Wellen sind Körper mit einem Brechungsindex größer als 3,732 bekannt. Nach der „Debyeschen Dipoltheorie“[3]) existieren nämlich nur bei isolierenden Flüssigkeiten fertige Dipole, die die Dielektrizitätskonstante und somit auch den Brechungsindex erhöhen.

Nach dieser Theorie hätte man die Minimalstellen der Reflexion bei Flüssigkeiten wie Aceton, Alkohol, Nitrotoluol, Nitrobenzol und Ameisen-

---

[1]) F. Eckert, Verh. d. D. Phys. Ges. **15**, 307, 1913.

[2]) E. Gehrcke, Die Anwendung der Interferenzen. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1906.

[3]) P. Debye, Phys. ZS. **13**, 97, 1912; P. Debye und E. Hückel, ebenda **24**, 185, 1923.

säure nachweisen können, die sämtlich einen größeren Brechungsindex als 3,732 besitzen.

Aber dieses Vorhaben wurde vereitelt, da die Untersuchungen wegen des großen Kasteninhalts zu teuer geworden wären, und obendrein hätten diese Substanzen die von mir benutzte Gummidichtung angegriffen.

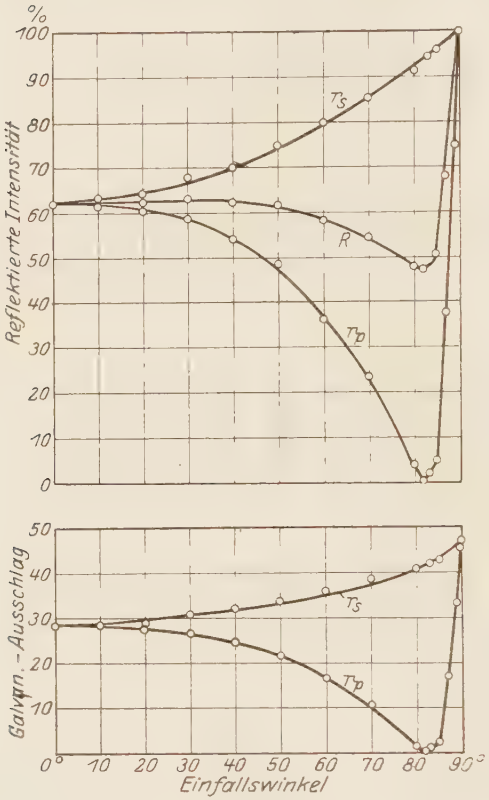

Fig. 5.

Als einziger Ausweg blieb die Untersuchung von verschieden stark konzentrierten wässerigen Salzlösungen; denn bekanntlich[1]) ist die Dielektrizitätskonstante ε der Lösung, also auch der Brechungsindex $n = \sqrt{\varepsilon}$ geändert im Vergleich mit dem des Lösungsmittels.

Erst kürzlich hat H. Zahn[2]) einige weitere Messungen von Dielektrizitätskonstanten veröffentlicht, an Natrium- und Lithiumchloridlösungen. Lithiumchlorid war freilich ebenfalls wegen der Preisfrage nicht zu verwenden.

Es blieb mir also nur übrig, die Reflexionsmessungen an wässerigen Kochsalzlösungen vorzunehmen.

Zu diesen Lösungen ist zu bemerken, daß bei der Herstellung der Lösungen jedesmal mehrere Liter Wasser und die dazugehörige Salzmenge genommen und diese Mischung erst in einem Glasgefäß gelöst wurde, bevor man sie in den Behälter brachte. Es mußte nämlich jede Verunreinigung, die durch ein anderes, etwa metallisches Gefäß hätte

[1]) P. Drude, Wied. Ann. **59**, 50, 1896; Z. B. Sommer, Diss. Berlin 1922.
[2]) H. Zahn, ZS. f. Phys. **31**, 362, 1925, Nr. 5/6; Phys. ZS. **26**, 680, 1925, Nr. 19.

entstehen können, vermieden werden. Außerdem setzte die Untersuchung eine genaue Konzentration der Lösung voraus, da, wie schon erwähnt, der Brechungsindex mit der Konzentration variiert.

Die erste gemessene Kochsalzlösung (3 proz.) zeigte nur eine geringe, innerhalb der Fehlergrenzen liegende Abweichung von der für Wasser erhaltenen Kurve, so daß diese Lösung jedenfalls nicht weiterführte. Die gemessenen und berechneten Werte sind in Figur 5 und der zugehörigen Tabelle wiedergegeben. Es tritt auch hier das für n größer

Kochsalz (3proz.). Werte zu Fig. 5.

Einfallswinkel	r_s gem. Skalenteile	r_s gem. in Proz.	r_p gem. Skalenteile	r_p gem. in Proz.	R gem. in Proz.
0^0	28	62,6	28,2	62,6	62,6
10	28,5	63,2	28	62,3	62,8
20	29	64,1	27,2	60,3	62,2
30	30,5	67,8	26,3	58,8	63,3
40	31.8	69,9	24,4	54,1	62
50	33,5	74,4	21,8	48,5	61,5
60	36	79,8	16,3	36,1	58
70	38,5	85,2	10,6	23,6	54,4
80	41	91,2	1,8	3,9	47,6
82	—	—	0,2	0,45	47,3
83	42	47,9	1	1,8	47,9
85	43	50,5	2,5	5,1	50,5
87	—	—	17	37,8	67,9
89	—	—	33,5	74,6	—
90	47	100	46	99	100

Kochsalz (10proz.). Werte zu Fig. 6.

Einfallswinkel	r_s gem. Skalenteile	r_s gem. in Proz.	r_p gem. Skalenteile	r_p gem. in Proz.	R gem. in Proz.
0^0	19,5	59,5	19,5	59,5	59,5
10	19,8	60	19,2	58,5	59,3
20	20,3	61,3	18,8	57,4	59,3
30	21,4	64,9	18,1	54,9	59,9
40	21,8	65,8	17	51,8	58,8
50	23,8	72	14,5	44	58
60	25,5	75,8	11,8	36	55,9
70	28	85,2	7	21,2	53,2
80	30,4	91,5	1,5	4	47,8
82	30,7	93,1	0,2	0,5	46,8
83	—	—	1,2	3	—
85	31,5	95	2,2	6,5	50,8
87	32,2	97,3	8	23	60,2
89	32,6	99	19,5	60	80
90	33,5	100	33,0	100	100

als 3,732 typische Minimum von R auf, und zwar wie bei Wasser für einen Einfallswinkel von 83°.

Sodann wurde die Konzentration der Lösung bis 10 Proz. vergrößert. Es ergaben sich die Kurven Fig. 6. Man erkennt hier eine Verschiebung von α_{min} (82°) nach 0° zu und eine deutliche Abnahme der reflektierten Intensität bei $\alpha = 0°$ und den anderen Winkeln im Vergleich mit der Wasserkurve.

Die Abnahme bei $\alpha = 0°$ und α_{min} wird noch deutlicher und größer bei einer 30proz. Salzlösung (Fig. und Tabelle 7). Zum besseren Vergleich sind die Werte für Wasser gemäß der Fig. 4 durch die eingezeichneten Kreise noch einmal mit angegeben.

Kochsalz (30proz.). Werte zu Fig. 7.

Einfallswinkel	r_s gem. Skalenteile	r_s gem. in Proz.	r_p gem. Skalenteile	r_p gem. in Proz.	R gem. in Proz.
0°	17	58,8	17	58,8	58,8
10	17,2	59,5	16,8	58	58,8
20	17,6	60,5	16,4	56,7	58,6
30	18,2	62,8	15,8	54,8	58,8
40	19	66	14,3	49,4	57,7
50	20,5	71	12,4	43	57
60	22	76	9,8	33,7	54,9
70	23,9	83	4,6	15,8	49,4
80	25,5	88	0,2	0,1	44,1
82	25,8	89	0,5	0,3	44,7
83	—	—	1	3,1	46,1
85	27,5	95	2,9	10,5	52,8
87	28,2	97	20,8	69,3	83,2
90	29	100	28,5	100	100

Asphaltmasse. Werte zu Fig. 9.

Einfallswinkel	r_s gem. Skalenteile	r_s gem. in Proz.	r_p gem. Skalenteile	r_p gem. in Proz.	R gem. in Proz.
0°	3,6	6	3,5	5,8	5,9
10	3,7	6,2	3,4	5,6	5,9
20	4,2	6,7	3,1	5	5,9
30	4,7	7,8	2,5	4,2	6
40	7,8	13	1,5	2,5	7,7
50	9	15	0,9	1,5	8,25
60	13	22	0	0	11
70	21,4	35,5	2	3,4	19,4
80	35,0	58,2	16	21,6	39,9
83	42,2	70,1	21,5	36	53,1
85	46	76,5	31,3	52	64,2
87	51	84	48,8	81,2	82,6
90	61,5	100	59,5	100	100

Nach diesen Kurven wurden die Brechungsexponenten n der Lösungen sowohl aus der Stelle $\alpha = 0^0$ als auch aus α_{min} berechnet. Es ergibt sich bei der 10proz. Lösung ein Brechungsindex von ungefähr 7,8 und bei der 30proz. Lösung ein n-Wert von 7,65.

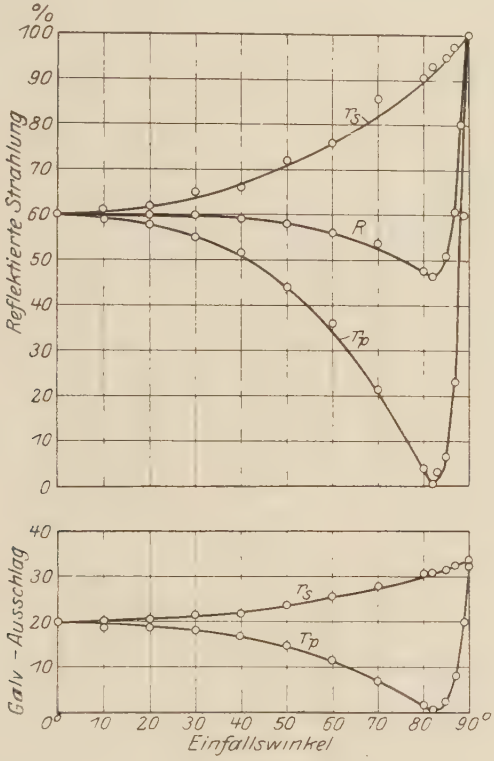

Fig. 6.

Man kann also auf diesem Wege angenähert die Dielektrizitätskonstante $\varepsilon = n^2$ bestimmen. Bei der 10proz. Lösung wäre $\varepsilon = 61$ und bei der 30proz. $\varepsilon = 59$.

Diese Werte scheinen die Angaben Zahns, daß die Dielektrizitätskonstante einer konzentrierten Lösung merklich geändert ist, im Vergleich mit der des Lösungsmittels, zu bestätigen.

Die gute Übereinstimmung der theoretischen und experimentellen Werte ist an sich schon ein Beweis für das fehlerlose Arbeiten und die genaue Justierung der Apparatur. Um aber einen direkten Beweis dafür zu haben, daß die Meßanordnung frei von allen Fehlerquellen war,

ging ich noch zu zwei Vergleichsmessungen über. Vorgenommen wurden diese an Metallen (n sehr groß $\rightarrow \infty$) und an einer Masse, deren Brechungsindex kleiner als der kritische 3,732 gewählt wurde.

An Stelle der Wasseroberfläche trat jetzt eine Weißblechplatte, die in gleicher Höhe völlig horizontal angebracht war. In Fig. 8 sind die

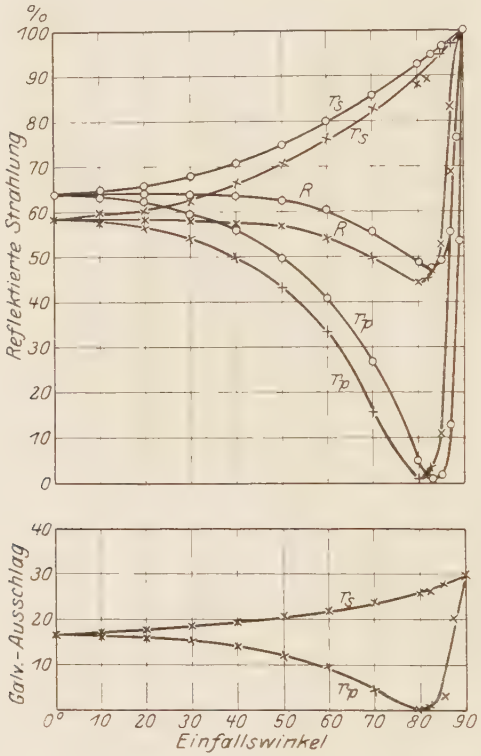

Fig. 7.

gemessenen Werte aufgezeichnet. Es ergaben sich, wie nach der Theorie zu erwarten war, zwei Gerade, d. h. völlige Unabhängigkeit der reflektierten Strahlung vom Einfallswinkel.

Der letzte untersuchte Stoff war Faßasphalt; es war kein völlig reiner Asphalt, sondern er enthielt noch Beimischungen von Teer und ähnlichen Substanzen. Mit einiger Mühe gelang es, eine Platte ($110 \cdot 110 \cdot 13\,\text{cm}^3$) eben herzustellen. Bei den Messungen befand sie sich wie die Metallplatte in Höhe des früheren Wasserspiegels in dem Holzbehälter.

Die bei den Messungen gefundenen Werte finden sich in Fig. 9. Es fällt, wie man sieht, das Minimum von R oberhalb 0^0 weg. Daher gibt es eine von 0^0 bis 90^0 Einfallswinkel ansteigende Reflexion. Der Brechungsexponent muß also unter dem kritischen Werte 3,732 liegen. Errechnet man n aus irgend einem gemessenen Werte, z. B. bei $\alpha = 0^0$, so erhält man $n = 1{,}7$.

Um dieses Ergebnis zu prüfen, wurde eine 1,5 mm dicke parallel gepreßte Platte hergestellt. Mittels dieser ließ sich die Dielektrizitätskonstante der Substanz bestimmen, und zwar durch das Verhältnis der Kapazitäten eines Kondensators, die man einmal mit und einmal ohne Asphaltplatte zwischen den Kondensatorplatten erhielt. Der Mittelwert aus mehreren solchen Messungen ergab sich für ε zu 2,87, für n infolgedessen zu 1,66.

Aus diesen beiden ergänzenden Vergleichsmessungen dürfte die hinreichende Fehlerfreiheit der Apparatur erwiesen sein.

Zusammenfassung.

Der übliche Verlauf der Reflexion ist der, daß sie von

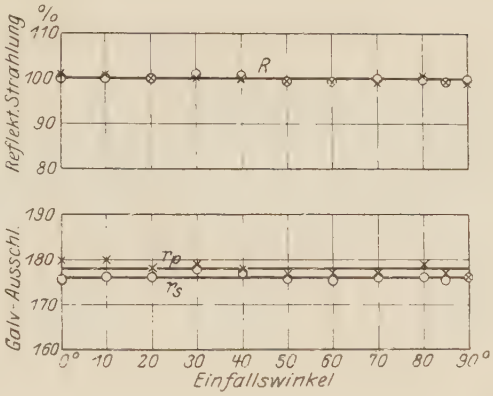

Fig. 8.

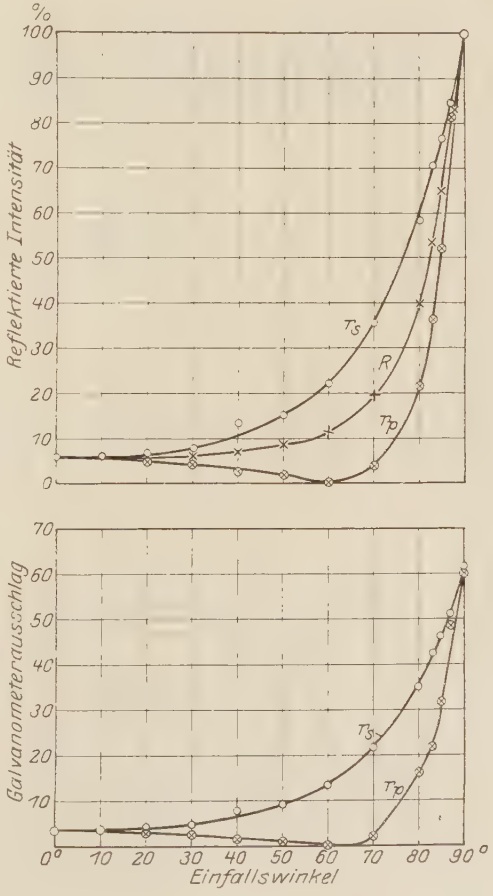

Fig. 9.

0^0 bis 90^0 Einfallswinkel ansteigt. Nach der Theorie gilt dies jedoch nur für Stoffe mit einem Brechungsexponenten n kleiner als 3,732.

Liegt der Wert für n über diesem kritischen, so tritt ein ausgeprägtes Minimum bei einem anderen von n abhängigen Einfallswinkel auf.

Die Messungen mit elektrischen Wellen an Wasser und wässerigen Salzlösungen bestätigen dieses Ergebnis der Theorie vollkommen.

Die Anregung zu der vorliegenden Arbeit gab mir Herr Dr. L. Bergmann, dem ich hierfür und für sein stets hilfsbereites Interesse meinen aufrichtigen Dank sage.

Marburg, Physikalisches Institut der Universität, im April 1926.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Die technische Mechanik des Maschineningenieurs

mit besonderer Berücksichtigung der Anwendungen

Von

Dipl.-Ing. P. Stephan

Regierungs-Baumeister, Professor

Soeben erschien:

Fünfter Band

Die Statik der Fachwerke

144 Seiten mit 198 Textfiguren. — Gebunden RM 8.40

Inhaltsübersicht:

Statisch bestimmte Fachwerke: Die Grundlagen der Berechnung. — Die statische Bestimmtheit ebener Fachwerke. — Das Schnittverfahren. — Der Kräfteplan. — Die Einflußlinien. — Die Formänderung ebener Fachwerke. — Räumliche Fachwerke.

Statisch unbestimmte Fachwerke: Die Hauptsätze zur Berechnung. — Die Arbeitsgleichungen. — Die Einflußlinien. — Die Belastungsumordnung. — Die mechanische Lösung mit dem Nullpunktbestimmer. — Die einfachen Rahmen mit steifen Ecken. — Die Knickung gegliederter Stäbe.

Früher erschienen:

Erster Band: **Allgemeine Statik.** 166 Seiten mit 300 Textfiguren. 1921. Gebunden RM 6.—

Zweiter Band: **Die Statik der Maschinenteile.** 272 Seiten mit 276 Textfiguren. 1921. Gebunden RM 9.—

Dritter Band: **Bewegungslehre und Dynamik fester Körper.** 258 Seiten mit 264 Textfiguren. 1922. Geb. RM 9.—

Vierter Band: **Die Elastizität gerader Stäbe.** 254 Seiten mit 255 Textfiguren. 1922. Gebunden RM 9.—

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Handbuch der Physik

Unter redaktioneller Mitwirkung von

R. Grammel-Stuttgart,
F. Henning-Berlin, H. Konen-Bonn, H. Thirring-Wien,
F. Trendelenburg-Berlin, W. Westphal-Berlin

Herausgegeben von

H. Geiger und **Karl Scheel**
Kiel Berlin-Dahlem

Das Handbuch der Physik bietet eine vollständige Darstellung des derzeitigen Standes der experimentellen und theoretischen Physik. Durch weitgehende Unterteilung des gesamten Stoffes auf die in den einzelnen Sondergebieten tätigen Forscher wird eine wirklich moderne und kritische Darstellung der Physik ohne eine übermäßige Belastung des einzelnen erzielt.

Das Werk umfaßt insgesamt 24 Bände zu je 30—35 Bogen Umfang

Jeder Band ist einzeln käuflich

Soeben erschien:

Dreiundzwanzigster Band

Quanten. Redigiert von **H. Geiger.** 792 Seiten mit 225 Abbildungen. RM 57.—; gebunden RM 59.70.

Inhaltsübersicht: **Quantentheorie.** Von Dr. W. Pauli, Hamburg. — **Methoden zur h-Bestimmung und ihre Ergebnisse.** Von Prof. Dr. R. Ladenburg, Berlin. — **Das kontinuierliche Röntgenspektrum.** Von Dr. H. Kulenkampff, München. — **Absorption und Zerstreuung von Röntgenstrahlen.** Von Dr. W. Bothe, Charlottenburg. — **Anregung von Emission durch Einstrahlung.** Von Prof. Dr. P. Pringsheim, Berlin. — **Photochemie.** Von Dr. W. Noddack, Charlottenburg. — **Anregung von Quantensprüngen durch Stöße.** Von Prof. Dr. J. Franck und Dr. P. Jordan, Göttingen.

Früher erschien:

Zehnter Band

Thermische Eigenschaften der Stoffe. Redigiert von **F. Henning.** 494 Seiten mit 207 Abbildungen. 1926. RM 35.40; gebunden RM 37.50.

Elfter Band

Anwendung der Thermodynamik. Redigiert von **F. Henning.** 462 Seiten mit 198 Abbild. 1926. RM 34.50; gebunden RM 37.20.

Zweiundzwanzigster Band

Elektronen / Atome / Moleküle. Redigiert von **H. Geiger.** 576 Seiten mit 148 Abbildungen. 1926. Geheftet RM 42.—; gebunden RM 44.70.

Als nächste Bände erscheinen Band IX, I und II

Die einzelnen Bände behandeln:

Bd. I—III. Geschichte, Vorlesungstechnik, Einheiten, mathematische Hilfsmittel.
Bd. IV. Grundlagen der Physik.
Bd. V—VIII. Mechanik einschl. Akustik.
Bd. IX—XI. Wärme.
Bd. XII—XVII. Elektrizität und Magnetismus.
Bd. XVIII—XXI. Optik aller Wellenlängen.
Bd. XXII—XXIV. Aufbau der Materie und Wesen der Strahlung.

Druck von Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., Braunschweig.

Lebenslauf.

Ich, *Karl Pfannenberg*, ev. Konfession, bin geboren am 4. Mai 1901 zu Großörner (Südharz) als Sohn des Lehrers Karl Pfannenberg und seiner Ehefrau Berta geb. Wurzler. Nach vierjährigem Besuch der Volksschule kam ich Ostern 1911 auf das das Gymnasium zu Eisleben, das ich Michaelis 1921 als Oberprimaner verließ. Nach einhalbjähriger privater Vorbereitung legte ich Ostern 1921 am Gymnasium in Sangerhausen die Reifeprüfung ab. Vom S.-S. 1921 bis W.-S. 1921 und S.-S. 1923 studierte ich an der Universität Halle und S.-S. 22., W.-S. 22 und seit W.-S. 1923 bis jetzt in Marburg Mathematik und Naturwissenschaften.

Ich hörte in Halle die Vorlesungen der Herren: Mie, K. Schmidt, Gutzmer, Jung, Vorländer, Ziehen, Menzer.

In Marburg: Cl. Schaefer, F. A. Schulze, Take, Senftleben, Stuchtey, Neumann, Hensel, Fraenkel, v. Dalwigk, Jaensch.